Nachweis für die Zuverlässigkeit

der

Haarhygrometerangaben

von

relativen Feuchtigkeitsgraden über 100%

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät der Universität Marburg

vorgelegt von

Adolf Fr. Weber
aus Frankfurt a. M.

ACAD. LIBR. BIBL.

Chr. Schaaf, Marburg i. H.
Spezialdruckerei für Dissertationen.
1912.

Von der philosophischen Fakultät als Dissertation angenommen
am 16. Mai 1912.
Berichterstatter: Professor Dr. F. Richarz.
Gutachter: Privatdozent Dr. Alfred Wegener.

Meinen Eltern

in Liebe und Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis.

I. Frühere Untersuchungen über Bauart und die Zuverlässigkeit von Haarhygrometern . . . . S. 7—18

II. Methode der vorliegenden Untersuchungen . S. 19—20

III. Die Versuchsanordnung . . . . . S. 20—32

IV. Vorbereitungen zu den Versuchen . . . . . S. 32—34

V. Die Versuche und ihre Ergebnisse . . . . . S. 34—40

3 Figuren der Versuchsanordnung . . . . . S. 21, 25, 29

3 Eichkurven (2 Bolometer-Eichkurven, 1 Hygrometer-Eichkurve) . . . . . S. 27, 28, 32

11 Tabellen über die Versuche (1 bis 10 und 1a) . S. 43—61

11 Curven, die Versuche darstellend (s. Anhang).

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556030_0075

Frühere Untersuchungen über Bauart und die Zuverlässigkeit von Haarhygrometern.

Das Haarhygrometer durch passende Konstruktion und kontrollierende Beobachtungen zum ersten Male zu exakten Messungen verwendbar gemacht zu haben, ist bekanntlich das Verdienst von Horace Benedicte de Saussure[1]). Die kleinen Längenausdehnungen des Haares bei zunehmender Feuchtigkeit maß er nicht direkt, wie dies bei einem Instrumente in Montsourris[2]) geschieht, sondern durch Übertragung der Bewegung des einen freien Haarendes auf eine Rolle und einen auf derselben Achse sitzenden Zeiger. Das Haar war bei einem Modell nicht selbst auf die Rolle aufgewunden, sondern das eine Ende war an einem dünnen Silberdraht befestigt, der seinerseits über die Rolle lief. Hierdurch vermied Saussure ein etwa durch Reibung an der Rolle verursachtes Rauhwerden

1) Versuch über die Hygrometrie H. B. de Saussure. Neuchatel 1783. Herausgegeben von A. J. von Oettingen. Leipzig 1900. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 115 und 119.

2) Nach A. u. H. Wolpert: Die Luft und die Methoden der Hygrometrie. Berlin 1899. S. 299.

des Haares. Das andere Ende war an dem Gestell befestigt, doch so, daß der Befestigungspunkt zwecks Justierung verschoben, nämlich der Rolle genähert oder von ihr entfernt werden konnte. Diese Rolle wurde später von anderen Konstrukteuren bisweilen durch einen Hebel ersetzt. Bei einem Haarhygrometer von Lambrecht[1]) ist der Befestigungspunkt der Haarenden an dem Hebel verschiebbar, wodurch eine zweite Möglichkeit zum Justieren des Apparates geschaffen wird. Bei diesem Instrumente werden mehrere nebeneinander gespannte Haare an Stelle des einen verwandt, wie dies auch bei anderen Bauarten üblich ist. Hierdurch soll ein Unbrauchbarwerden des Apparates bei Zerreissung des Haares vermieden und die Fehler der einzelnen Haare ausgeglichen werden. Die Haare werden öfters zu Bündeln, bei einem Modell von Schubert[2]) sogar zu einem Geflecht vereinigt. Bei Verwendung mehrerer Haare wird jedoch der Empfindlichkeit des Instrumentes, wie besonders E. Kleinschmidt[3]) zeigt, verringert. Daher gibt man im Allgemeinen den Hygrometern mit einem Haar den Vorzug; die Anordnung mit mehreren Haaren wird in der Hauptsache nur zu Registrierinstrumenten (siehe E. Kleinschmidt l. c. S. 104 u. 108) z. B. zu den Hygrographen von Richard frères in Paris verwandt. Das verbreitetste Haarhygrometer ist neben dem von Lambrecht (in sein „Polymeter" eingebauten) das

---

1) Lambrecht, Broschüre über das Polymeter. Göttingen 1892.

2) Siehe Wolpert (l. c.) S. 305.

3) E. Kleinschmidt: Feuchtigkeitsmessungen bei Registrierballonaufstiegen, Beiträge zur Physik der freien Atm. 2. 1906—1908. S. 99.

von Koppe[1]). Es unterscheidet sich von dem von Saussure u. a. durch seine Art der Justierung; diese wird erreicht mittels Verlängerung oder Verkürzung des Haares durch Aufwinden des oberen Haarendes auf eine zweite Rolle. Neben diesem Instrumente, das von Hottinger & Co. in Zürich zuerst gebaut wurde, existieren noch einige andere Formen von Haarhygrometern, die auf wesentlich anderen Prinzipien beruhen. So hat Lambrecht[2]) ein weiteres Modell ausgeführt. Bei diesem liegt auf der Mitte eines horizontal gespannten Haarbündels ein drehbarer Zeiger auf, dessen Achse zur Richtung des Haarbündels parallel ist. Bei Ausdehnung der Haare wird die Haarmitte und mit ihr das freie Ende des Zeigers, natürlich in entsprechend größerem Maße, gesenkt. Diese Art der Konstruktion wird auch bei den schon erwähnten Hygrographen von Richard frères verwandt. Klinkerfueß[3]) hat ein Hygrometer erdacht, das nach dem Gauß'schen Prinzipe der bifilaren Aufhängung gebaut ist. Verwandt mit dieser Bauart ist die des Torsionshygrometers von Russeltvedt[4]). Bei diesem Instru-

1) C. Koppe: Über Feuchtigkeitsbestimmungen mit Hilfe des Prychrometers und Haarhygrometers und über eine sehr zweckmäßige Verbindung beider Instrumente. Zeitschrift der Österr. Gesellschaft für Meteorologie. XIII. 1878. Ferner: Die Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft mit besonderer Berücksichtigung des neuen Prozenthygrometers mit Justiervorrichtung. Zürich 1878.

2) Siehe A. Mertens: Über die Haarhygrometer von Lambrecht in Göttingen. Zentralzeitung für Optik und Mechanik III, S. 181, 220, 233, 278.

3) F. Klinkerfueß: Theorie des Bifilarhygrometers mit gleichgeteilter Prozentskala. Göttingen 1878.

4) Nils Russeltvedt: Ein neues Haarhygrometer. Meteorol. Zeitschrift 25, S. 396.

mente wird ein Zeiger einerseits durch zwei gegeneinander tordierte Haare und andererseits durch die Torsion eines beschwerten Bündels von Seidenfäden gedreht. Das Instrument besitzt also keine Achsen. Die Reibung, die an Achsenlagern auftritt, vermeidet ebenfalls das neue Hygrometer von Steffens[1]). Dieses besteht aus 8 horizontalen, leichten Aluminiumstäbchen, von denen jedes durch zwei diagonale Haarbündel an dem darüber hängenden aufgehängt ist. Die Senkungen des letzten Stäbchens bei Ausdehnung der Haare wird gemessen.

Bei den meisten erwähnten Haarhygrometern wurden Menschenhaare verwandt; Russeltvedt (l. c.) und Fergusson[2]) benutzten Pferdehaare. Diese haben zwar den Vorteil größerer Festigkeit, besitzen aber, wie E. Kleinschmidt (l. c.) beweist, eine geringere Empfindlichkeit.

Über die Art der Vorbehandlung der zum Bau von Hygrometern bestimmten Menschenhaare macht schon Saussure (l. c.) Angaben. Wie alle späteren Forscher bestätigen, eignen sich hierzu am besten blonde, möglichst farblose, dünne Frauenhaare. Zuvor müssen sie jedoch von dem darin enthaltenen Fett befreit werden. Saussure erreichte dieses, indem er sie längere Zeit in Kalilauge, später in Sodalösung auslaugte. Seit den Versuchen von Regnault[3]) wird hierzu nunmehr in der Regel

---

1) O. Steffens, Ein neues Instrument zur Messung der Luftfeuchtigkeit. Verhandlungen des Naturwiss. Vereins Hamburg 131, 14 LI—LIII. 1906.

2) S. O. Fergusson: The errors of Absorption Hygrometers. Ann. of the Astron. Observatory of Harvard College. Vol. LVIII Part. II p. 127. Cambridge 1906.

3) Pogg. Annalen Bd. 65 S. 135 u. 321.

Äthyläther benutzt. Hierin werden die Haare etwa 24 Stunden belassen, bis sie durchscheinend geworden sind. Eine zu lange Behandlung mit Fettlösungsmitteln kann die Haare, wie schon Saussure (l. c.) gezeigt hat, und nach ihm von anderen Forschern immer wieder betont wurde, unbrauchbar machen. Nach Fergusson (l. c.) ist auch ein länger als einen Tag dauerndes Verweilen in Äther schädlich. Saussure und Regnault (l. c.) haben gezeigt, daß nur gleich behandelte Haare gleichen Gang haben, ungleichartig behandelte Haare stimmen in ihren Angaben nicht unbedingt überein, auch wenn sie etwa in zwei entsprechenden Punkten der Skala, z. B. den beiden äussersten übereinstimmen sollten.

Für die größte Belastung, durch welche die so behandelten Haare in verschiedenen Hygrometern gespannt werden dürfen, gibt Saussure 0,3 bis 0,6 g an. Später wurden meist Gewichte oder Federn mit einer Zugkraft von 0,5 g benutzt.

Die so gebauten Haarhygrometer liefern, wie Saussure (l. c.), Regnault (l. c.), Koppe (l. c.) und andere zeigten, Angaben über die herrschende relative Feuchtigkeit. Saussure versuchte eine Erklärung für diese Tatsache zu geben, doch war diese etwas unklar, da zu seiner Zeit weder der Begriff der relativen Feuchtigkeit noch der der Dampfspannung klar präzisiert waren. Aus ähnlichen Gründen waren auch die Vorstellungen von Biot[1]) noch unvollkommen. Koppe (l. c.) glaubte in der Aufnahmefähigkeit der Haare für Wasser einen der Hygroskopie von Salzen analogen Vorgang annehmen zu

1) Biot: Lehrbuch der Physik. Deutsch von Th. Fechner. Leipzig 1828.

müssen. Eine besser begründete Erklärung hat erst Sresnewsky[1]) gegeben. Nach ihm enthalten gewisse Poren in den Haaren Wasser und darüber Luft. Als normalen Zustand sieht er entgegen den früheren Forschern denjenigen vollkommener Sättigung an. Bei anderen Feuchtigkeitsgraden wird sich ein Gleichgewichtszustand bilden einerseits zwischen der Dampfspannung in der Umgebung des Haares und der in seinem Innern, sowie andererseits zwischen dieser Dampfspannung in der Kapillare und der Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche daselbst. Da diese an den Haarwänden anhaftet, ziehen sich hierbei auch diese etwas zusammen. Sresnewsky berechnet, daß die Kontraktion der Haare, die hierbei eintritt, proportional dem negativen natürlichen Logarythmus der relativen Feuchtigkeit ist. Schon Gay-Lussac[2]) hat eine empirische Tabelle für die hygrometrischen Ausdehnungskoeffizienten bei den verschiedenen Feuchtigkeitsgraden angegeben, die erkennen ließ, daß die Ausdehnung nicht, wie zuerst angenommen wurde, proportional der relativen Feuchtigkeit selbst ist. Bei mikroskopischer Untersuchung zeigt das Haar einen Aufbau aus mehreren, im Wesentlichen aus zwei Schichten, einer inneren Markschicht und einer äußeren Rindenschicht (siehe u. a. Philipp Stöhr, Lehrbuch der Histologie, Würzburg 1904). Welcher von diesen Schichten die Ursache der hygroskopischen Eigenschaften der Haare ist, ist noch nicht festgestellt.

---

1) Sresnewsky: Theorie de l'hygromètre à cheven. Russ. Meteor. Zeitschrift, 1895. Referat in der Met. Zeitschrift 1896, S. 145.

2) Siehe Kämtz: Lehrbuch der Meteorologie Bd. I, S. 335.

Daß andere Dämpfe und Gase außer Wasserdampf keinen Einfluß haben, hat Saussure nach genauen Versuchen feststellen können. Ebenso wies er nach, daß die Angaben der Haarhygrometer unabhängig vom herrschenden Luftdruck sind. Diese Tatsache wurde durch Versuche von E. Kleinschmidt (l. c.) geprüft und bestätigt. Dagegen hat schon Saussure eine Ausdehnung bei Erwärmung festgestellt. Er berechnete den thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu $15 \cdot 10^{-6}$. Da er aber die Messungen an Hygrometern, die auf Messinggestellen montiert waren, angestellt hatte, kann dieser Wert nur den relativen Ausdehnungskoeffizienten gegen Messing darstellen. Klinkerfueß (l. c.) gibt an, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient der Haare nahezu gleich dem des Messings sein müsse, da er bei seinem Bifilarhygrometer Temperatureinflüsse nicht beobachten konnte. Nach genaueren Untersuchungen von E. Kleinschmidt (l. c.) ist nunmehr der absolute Ausdehnungskoeffizient für die Wärmeausdehnung zu $34 \cdot 10^{-6}$ festgestellt. Dieser Wert gilt zunächst nur für trockene Haare, für feuchte scheint er sich aber nach den Versuchen von E. Kleinschmidt nicht wesentlich von dem genannten Werte zu unterscheiden.

Kleinschmidt hat außerdem Versuche über die Trägheit der Haare bei ihrer Einstellung bei Feuchtigkeitsänderungen angestellt. Für die Trägheitskoeffizienten bei den verschiedenen Bedingungen hat er Tabellen gegeben. Trowbridge[1]) hatte schon vorher bemerkt, daß ein Haarhygrometer

1) C. C. Trowbridge: The use of hairhygrometer. Science 1896. II, p. 62.

langsamer von Graden größerer Feuchtigkeit zur Trockenheit gehe, als umgekehrt.

Nachdem man so mehr oder weniger über die Ursachen etwaiger Störungen Klarheit geschaffen hatte, mußte man für die verschiedenen Instrumente Eichmethoden ausdenken. Saussure hatte zuerst zwischen dem Punkt völliger Sättigung und demjenigen absoluter Trockenheit, den er bewußt willkürlich annahm, eine gleich geteilte Skala angenommen. Wie Gay-Lussac (l. c.), Regnault (l. c.), Koppe (l. c.) und andere wiederholt bemerkt haben, ist aber diese Annahme nicht richtig. Regnault (l. c.) eichte daher seine Haarhygrometer in einer Röhre, indem er nacheinander verschiedene Gemische von Wasser mit Schwefelsäure in dieselbe brachte, und die dann herrschenden Feuchtigkeitsgrade berechnete. Eine andere Eichung nach Gay-Lussac und Koppe besteht darin, daß die Hygrometer unter einer Glocke beobachtet werden, deren Wände nacheinander mit verschiedenen Salzlösungen befeuchtet wurden. Die Dampfspannungen können alsdann berechnet werden. Bequemer als diese Arten der Eichungen ist aber meist ein Vergleich mit einem Taupunkthygrometer, etwa dem von Regnault. Eine Anzahl besonderer Untersuchungen beschäftigen sich mit der genauen Justierung des Sättigungspunktes. Nach den Angaben von Shaw[1]) genügt es nicht, unter eine Glocke flüssiges Wasser zu bringen, um den Raum mit Wasserdampf zu sättigen, da hierbei keine vollkommene Sättigung erzielt wird. Dasselbe gilt bei der von Koppe (l. c.) benutzten Einstellungsmethode. Koppe bewirkte diese Einstellung, indem er in das

1) Phil. Magazine Vol. 179 A. 1888. p. 73.

Gehäuse des Instrumentes ein mit einem feuchten Mousselingewebe überspanntes Rähmchen brachte, worauf das Gehäuse abgeschlossen wurde. Auch bei dieser Methode wird der Sättigungspunkt etwas zu niedrig bestimmt. Deshalb gibt Kleinschmidt[1]) eine neue Methode an. Unter die Glocke, in deren Raum die Hygrometer geeicht werden sollen, bringt er ein Schälchen mit warmem Wasser und wartet, bis die Wände der Glocke gleichmäßig beschlagen sind. Sodann erniedrigt er plötzlich den Luftdruck in diesem Raum, bis gerade Nebel gebildet wird. Dies wiederholt er mehrmals, bis die Instrumente dauernd denselben Wert anzeigen. Dann erst kann er annehmen, daß völlige Sättigung herrscht und kann diesen Punkt mit 100 % bezeichnen. Weitere Punkte der Eichkurve erkält er dann durch Vergleich mit einem Assmann'schen Aspirationspsychometer oder nach einer schon von Lampert (siehe Saussure „Essais de l'hygrométrie" S. 152) angegebenen Methode durch Auspumpen der Glocke und Berechnen nach von Kleinschmidt korrigierten Formeln.

Einmal durchgeführte Eichungen behalten, wie vielfach bestätigt ist, ihre Gültigkeit für längere Zeit. Bei Transport oder auch sonst kommen bisweilen Veränderungen der Angaben von Haarhygrometern vor; Koppe (l. c.) konnte jedoch zeigen, daß dann lediglich Verschiebungen der gesamten Skala eintreten, sodaß Justierungen auf einen bestimmten Punkt z. B. den Sättigungspunkt mit Hilfe seiner bereits besprochenen Vorrichtung genügen, um die frühere Eichung wieder gültig zu machen.

---

1) l. c.

Um im Übrigen die Brauchbarkeit der Haarhygrometer zu untersuchen, mußten sie mit anderen Apparaten zur Bestimmung der Feuchtigkeit verglichen werden. Zahlreiche Beobachtungen dieser Art sind von den verschiedensten Forschern gemacht worden. Am umfangreichsten sind die Vergleichsuntersuchungen mit dem August'schen Psychrometer. Die wichtigsten dieser Beobachtungen sind von Wolf[1]) Koppe (l. c.), Galle[2]), Trowbridge (l. c.), Bergmann[3]), Regnault[4]) und Pircher[5]) mitgeteilt. Alle bezeichnen fast einstimmig das Haarhygrometer als zuverlässiger wie das von der jeweiligen Luftbewegung abhängige Psychrometer, zumal da Psychrometerablesungen um 0 Grad Celsius bisweilen illusorisch werden. Pircher (l. c.) hat auch Vergleiche mit dem Assmannschen Aspirationspsychrometer angestellt und gefunden, daß die von dem Haarhygrometer gelieferten Angaben mit denen des ersteren Instrumentes ziemlich gut übereinstimmen, wenigstens besser als die von gewöhnlichen Psychrometern. Schwierigkeiten ergeben sich erst bei sehr geringen Feuchtigkeitsgraden. Kleinschmidt (l. c.) glaubte jedoch auch annehmen zu müssen, daß die Haare bei sehr tiefen Temperaturen, etwa bei 40° C., ihre Auf-

1) Wolf: Psychrometer oder Haarhygrometer. Zürich 1872.

2) Galle: Über die von Hottinger u. Co. verfertigten Haarhygrometer ... Berlin 1883.

3) Bergmann: Über die Zuverlässigkeit von Haarhygrometern. Wild & Repert. d. Meteorol. Bd. IX. Nr. 3.

4) Regnault: Etude sur l'hygrométrie. Pogg. Annalen Bd. 88. S. 420.

5) J. Pircher: Über Haarhygrometer. Denkschriften der K. Akademie der Wissenschaften. Bd. 73. Wien 1901. S. 267.

nahmefähigkeit für Wasserdampf verlieren. Er gibt jedoch später[1]) zu, daß es nicht immer unmöglich sei, bei diesen Temperaturen brauchbare Werte zu erhalten, obwohl daselbst die Trägheit der Haare eine sehr große sei. Tatsächlich sind auch auf Polarexpeditionen z. B. der Fram-Expedition noch bisweilen bei tieferen Temperaturen Haarhygrometer mit Erfolg benutzt worden. Eine weitere Unregelmäßigkeit wurde von Pircher (l. c.) gefunden. Er beobachtete, daß Haarhygrometer, wenn sie sich einige Zeit lang in einem mit Wasserdampf gesättigten Raume befunden hatten und dann in Luft von geringerer Feuchtigkeit gebracht wurden, zu tief anzeigten und umgekehrt. In beiden Fällen zeigen die Instrumente jedoch nach einiger Zeit wieder den wahren Feuchtigkeitsgrad an. Später wurden diese Erscheinungen bei Drachenaufstiegen häufig beobachtet, wenn das Registrierinstrument z. B. aus einer Wolkenschicht in eine wärmere, trockene Schicht gelangte. Pircher erklärt die Erscheinung als durch die Elastizität der Haare bedingt. Neuerdings ist öfters — insbesondere von A. Wagner[2]) — beobachtet worden, daß richtig justierte Haarhygrometer zuweilen relative Feuchtigkeiten von mehr als 100 % anzeigten Während man früher bei Beobachtung ähnlicher Erscheinungen annahm, daß fehlerhafte Angaben der

1) E. Kleinschmidt: Über die Feuchtigkeitsverhältnisse der oberen Inversion. Beitr. zur Phys. der freien Tem. 2. S. 205.

2) A. Wagner: Untersuchungen der Wolkenelemente auf dem Hohen Sonnblick (3106 m). Sitzungsbericht der K. Akademie der Wissenschaften in Wien, Bd. 117. IIa. Dezember 1908.

Haarhygrometer vorlägen, sieht sich Wagner zu der Annahme genötigt, daß tatsächlich eine Übersättigung der Luft bei seinen Beobachtungen vorgelegen habe, da öfters gleichzeitig vier Haarhygrometer von verschiedener Bauart nach direkt vorangegangener Justierung des Sättigungspunktes im Nebel bis 107% anzeigten. Der Durchschnittswert der von ihm beobachteten Übersättigung betrug 102%. A. Wegener machte auf der Danmark-Expedition ähnliche Beobachtungen[1]) und korrigierte daher diese Überschreitungen des Sättigungspunktes nicht auf 100%, um nicht systematische Fehler im Mittelwert zu erhalten. Daß tatsächlich Übersättigungserscheinungen bei Wasserdampf wohl möglich sind, haben bereits die Untersuchungen von R. v. Helmholtz und F. Richarz[2]) gezeigt. Auf der Möglichkeit von Übersättigungen beruhen auch die bekannten Versuche von C. T. R. Wilson[3]) über die Kondensation an Jonen, welche von J. J. Thomson auch theoretisch bestätigt wurden[4]). Ob nun in der Tat Haarhygrometer in übersättigtem Raume brauchbare Angaben liefern, sollte in den nachfolgenden Untersuchungen geprüft werden.

---

1) A. Wegener: Meteorologische Terminbeobachtungen am Danmarks-Havn. Danmarks-Ekspeditionen til Grönlands Nordöstkyst 1906—1908. Bind II Nr. 4. Köbenhavn 1911.

2) R. v. Helmholtz u. F. Richarz: Ann. d. Physik. Bd. 32 S. 1 1887 und Bd. 40 S. 169. 1890, Bd. 59. S. 592. 1896.

3) C. T. R. Wilson: Phil. Transact. Vol. 193 A. 289. London 1899. Ferner siehe: E. Barkow: Versuche über Entstehung von Nebel ... Inaug.-Diss. Marburg 1906. Lit.-Verz. S. 75. Nr. 116—130.

4) J. J. Thomson: Elektrizitätsdurchgang durch Gase. Deutsch von E. Marx.

Methode der vorliegenden Untersuchungen.

Die Aufgabe der nachfolgenden Untersuchungen war, die Angaben von Haarhygrometern in Luft von verschiedenen relativen Feuchtigkeitsgraden oberhalb 100% zu beobachten. Zur Herstellung dieser Übersättigungs-Zustände wurde die Entspannungsmethode verwandt, die zu ähnlichen Zwecken schon verschiedentlich Anwendung gefunden hat. Durch adiabatische Druckerniedrigung wurde mit Wasserdampf gesättigte Luft, die von möglichst allen Kondensationskernen befreit war, plötzlich abgekühlt. Da einer Sättigung bei der kühleren Temperatur ein geringerer Dampfdruck entsprechen würde, wird Übersättigung eintreten, sofern nur dafür gesorgt ist, daß die vor der Entspannung vorhandene Dampfspannung sich nicht ändert. Bei den folgenden Versuchen wurden dadurch verschiedene Grade von Übersättigungen erzielt, daß die einmal durch Entspannung übersättigte Luft sich wieder langsam durch Wärmeausgleich mit der Umgebung erwärmen konnte, wodurch die Übersättigung in entsprechendem Maase abnahm. Die Abkühlung und darauf folgende Erwärmung wurde durch eine später zu besprechende Bolometereinrichtung gemessen, während gleichzeitig das Hygrometer beobachtet wurde. Da das Haarhygrometer eine verhältnismässig grössere Trägheit besaß wie das Bolometer, durfte allerdings nicht erwartet werden, daß die Angaben beider Instrumente während des ganzen Versuches übereinstimmten. Es war im Gegenteil die Frage, ob sie überhaupt jemals übereinstimmten und in welchem Punkte dies der Fall war. Im aufsteigenden Teile der Hygrometerkurve sowie später im abfallenden Abschnitte derselben konnte das Haar-

hygrometer infolge der großen Trägheit nicht die augenblickliche Übersättigung richtig anzeigen. Nur in dem höchsten Punkte, den die Kurve der an dem Haarhygrometer abgelesenen relativen Feuchtigkeit erreichte war der Einfluß der Trägheit ausgeschaltet. Fiel diese Stelle mit einem Punkte derjenigen Kurve zusammen, welche die Werte für die jeweiligen Feuchtigkeitsgrade darstellte, wie sie aus den in den betreffenden Zeitpunkten beobachteten Temperaturen berechnet werden konnten, so zeigte das Haarhygrometer daselbst tatsächlich die berechnete Übersättigung an. Wäre dies nicht der Fall gewesen, hätten sich die beiden Kurven in einem anderen Punkte geschnitten oder vielleicht überhaupt nicht, so wäre es zweifelhaft gewesen, ob das Haarhygrometer noch richtige Angaben oberhalb des Sättigungspunktes liefern könnte.

Die Versuchsanordnung.

Als Versuchsraum diente eine Glasglocke (Fig. 1) von 40 cm Durchmesser und 60 cm Höhe, die in der Glashütte von Moeller, Jungwirth & Griebel in Ilmenau hergestellt war. Diese auf eine ebene Glasplatte aufgekittete Glocke war von dieser Größe gewählt worden, um eine möglichst große Entfernung der Glaswände von den Hygrometerhaaren zu ermöglichen, und so den störenden Einfluß eines etwaigen Beschlages der Glaswände zu verringern. Glocke und Bodenplatte sowie alle mit der zu den Versuchen verwandten Luft in Berührung kommenden Glasteile waren wiederholt mit Salpetersäure und Wasser bespült worden, um dem Glase anhaftendes

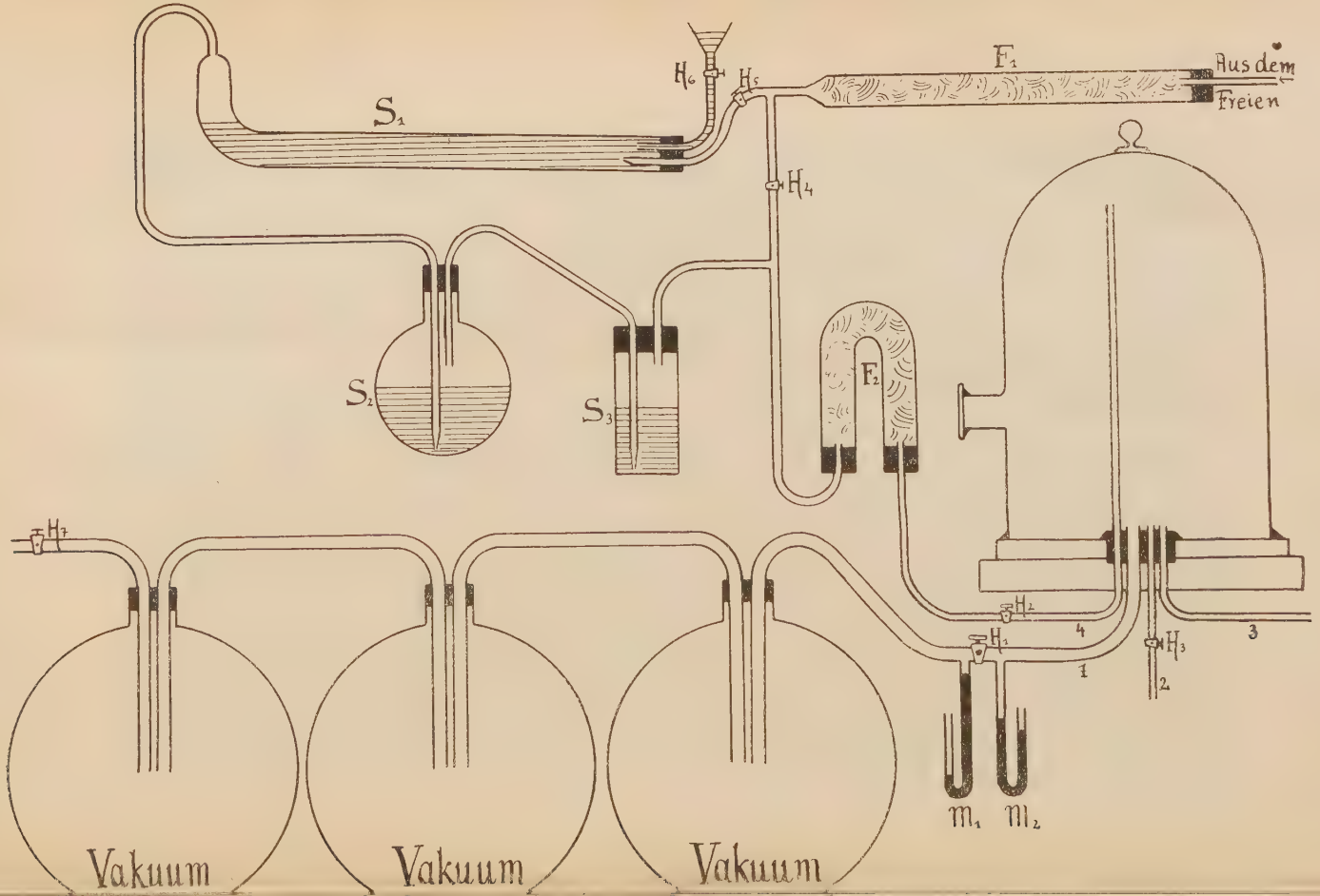
S1
H6
H5
F1
Aus dem
Freien
H4
S2
S3
F2
H7
H2
H1
4
3
H3
1
2
m1
m2
Vakuum
Vakuum
Vakuum

Fig. 1.

Alkali so durch Neutralisation und Lösung zu entfernen, da seine hygroskopische Eigenschaft sonst eine Sättigung und Übersättigung des Raumes erschwert hätte. Die Bodenplatte hatte in der Mitte eine ca. 5 cm weite Durchbohrung, die durch einen in Paraffin gut ausgekochten und außerdem noch mit schwarzem Wachskitt abgedichteten Korke verschlossen war. Durch diesen Kork führten vier Glasröhren hindurch (siehe Fig. 1); eine von diesen Röhren (1.) war ca. 10 mm weit und führte zu dem Entspannungshahn H_1, der eine weite Bohrung besaß und das Vakuum abschloß. Dieses bestand aus drei großen Glasflaschen, wie sie zum Versandt von Säuren etc. verwandt werden. Dies Vakuum hatte einen Gesamtrauminhalt von ca. 200 l und wurde vermittelst einer Metallwasserstrahl-Luftpumpe bis etwa 70 cm Quecksilberdruck evakuiert. Zwei offene Manometer M_1 M_2 waren zu beiden Seiten des Entspannungshahnes angesetzt, um die Drucke im Vakuum und in dem Versuchsraume anzuzeigen. Eine zweite Glasröhre (2), durch einen Hahn verschließbar, führte ins Freie, während durch eine dritte (3) die für das Bolometer benötigten Leitungsdrähte eingeführt wurden. Diese Röhre war im Übrigen mit Paraffin ausgegossen. Durch eine vierte Glasröhre (4) endlich, die etwa 45 cm über den Boden in den Versuchsraum hineinragte, konnte diesem von Staub befreite, gesättigte oder trockene Luft zugeführt werden. Zu diesem Zwecke wurde die Luft aus dem Freien durch eine Röhrenleitung zu einem langen Wattefilter (F_1) geführt und konnte sodann durch einen Hahn (H_5) in die Sättigungsapparate und nach Passieren eines zweiten Wattefilters (F_2) und eines Hahnes (H_2) durch die oben erwähnte vierte Röhre in den Untersuchungs-

raum gelangen. Vor dem Hahn, der zu den Sättigungsgefäßen führte (H_5), war eine Röhrenleitung, ebenfalls durch einen Hahn (H_4) verschließbar, direkt zu dem zweiten Wattefilter (F_2) geführt, sodaß auch trockenere Luft eingeleitet werden konnte. Um die Luft mit Wasserdampf zu sättigen, wurde sie zuerst durch eine feine Spitze in ein Sättigungsrohr (S_1) eintreten gelassen. Dies war ein 5 cm weites ca. 120 cm langes Glasrohr (Fig. 1), daß an dem einem Ende rechtwinklig umgebogen und dann zu einer Röhre von 0,7 cm Durchmesser ausgezogen war. Das andere Ende war durch einen doppelt durchbohrten, in Paraffin getränkten und in der Röhre mit Wachs eingedichteten Kork verschlossen. Durch die Durchbohrungen waren eine Trichterröhre mit Hahn (H_6) und die Luftzuleitungsröhre, die in die oben erwähnte Spitze endigte, geführt. Die Sättigungsröhre war mit diesem Ende etwas gesenkt fast horizontal aufgestellt. In ihr befand sich Wasser von Zimmertemperatur, durch das die Luft langsam in kleinen Blasen hindurchstreichen mußte. Auf diese Weise kam eine sehr innige Berührung mit dem Wasser zu Stande, sodaß die Luft nach Verlassen der Röhre schon als nahezu gesättigt betrachtet werden konnte. Nach dieser Röhre mußte sie sodann eine Kochflasche (S_2) in der Wasser auf etwa 40 Grad erhitzt wurde, passieren, in der sie abermals durch das Wasser durchperlen mußte. Zum Schlusse wurde die hierdurch etwas erwärmte Luft noch durch einen Standzylinder (S_3) geleitet, in welchem sich abermals Wasser von Zimmertemperatur befand. Auch hierin mußte die Luft durch das Wasser in sehr kleinen Blasen hindurchstreichen, um so wieder auf Zimmertemperatur abgekühlt zu werden. Schließlich wurde sie durch das zweite Wattefilter (F_2) in

die Versuchsglocke geleitet. Die so behandelte Luft konnte mit ziemlicher Sicherheit als mit Wasserdampf gesättigt angesehen werden. Diese Methode der Sättigung wurde jedesmal angewandt, wenn nach einem Versuche die durch die Entspannung entfernte, gesättigte Luft wieder ersetzt werden mußte.

Die jeweilige Temperatur dieser Luft, vor und während der Versuche, wurde gemessen mit Hilfe eines gewöhnlichen Bolometers, dessen Konstruktion in den Grundzügen nach den Angaben von Lummer und Kurlbaum[1]) ausgeführt war. An einem Glasgestell (Fig. 2) hing in dem Versuchsraume das Bolometerrähmchen. Dieses war aus englischem Schiefer hergestellt. Da dieser hygroskopische Eigenschaften aufweist, war das Rähmchen in Paraffin ausgekocht und darauf noch mit demselben Material überzogen worden. Auf diesen Rahmen waren die Bolometerwiderstände lose aufgespannt. Als Bolometersubstanz war Platin, nicht Eisen gewählt worden, um ein Unbrauchbarwerden des Bolometers durch Rosten, das in dem gesättigtem Raume sehr intensiv aufgetreten wäre, zu vermeiden. Zu den beiden Widerständen waren dünne Drähte von 0,02 mm Durchmesser verwandt worden. Für die verfolgten Zwecke genügte es vollkommen, Drähte mit kreisförmigen Querschnitt zu benutzen. An die 4 Enden der aufgespannten Drähte waren dickere Kupferdrähte angelötet, die ihrerseits durch die bereits erwähnte, mit Paraffin ausgegossene Glasröhre (3. in Fig. 1) aus dem Versuchsraume hinausgeleitet wurden. Diese Drähte waren mit dem Meß-

1) O. Lummer und F. Kurlbaum. Bolometrische Untersuchungen. Wiedem. Ann. d. Phys. u. Chem. Neue Folge Bd. 46. 1892.

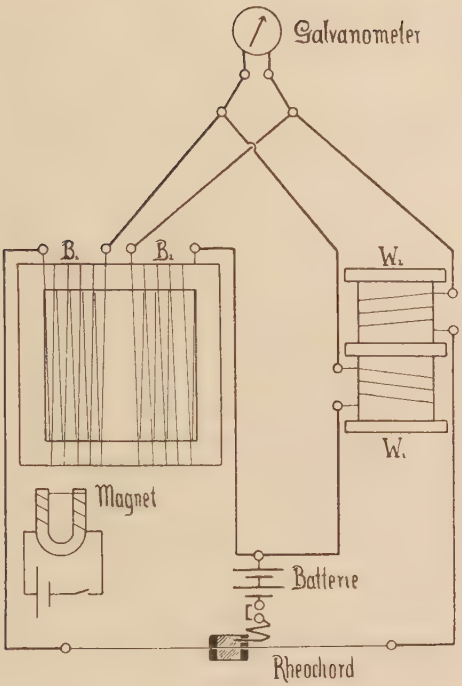

Fig. 2

systeme, wie aus Fig. 2 ersichtlich, nach den Angaben von Lummer und Kurlbaum (l c.) verbunden. Der eine Bolometerwiderstand (B_1) war mit dem einen Ende an eine Klemme eines Rheochords, das andere Ende mit einer Verzweigungsstelle verbunden. Von dieser ging ein Draht zu einem Galvanometer, ein anderer zu dem einen Vergleichswiderstand (W_1), an dessen zweitem Ende sich wieder eine Verzweigungsstelle befand. Von dieser wieder führte ein Leitungsdraht zu dem einen Pol der Stromquelle, ein zweiter zu dem einen Ende des zweiten Bolometerzweiges (B_2). Von dem anderen Ende des letzteren zweigten

wieder zwei Drähte ab, die einerseits an die zweite Klemmschraube des Galvanometers, andererseits an ein Drahtende des zweiten Vergleichswiderstande (W_2) angeschlossen waren. Dieser wieder war an die zweite Klemme des Rheochordes angeschaltet. Der Stromkreis wurde geschlossen, sobald die Verbindung des zweiten Poles der Stromquelle mit dem Schleifkontakte des Rheochordes hergestellt wurde. Der Draht des Rheochordes war aus Constantan gezogen. Der Schleifkontakt wurde von einer kurzen Glasröhre gebildet; auf beiden Seiten war diese durch paraffinierte Korke verschlossen, durch die der Constantandraht und der Brückendraht geführt waren. Das Glasröhrchen war mit Quecksilber gefüllt. Dieser Schleifkontakt blieb jedoch nach einmal stattgehabter Eichung unverändert an derselben Stelle, während die Temperaturen aus den an der Galvanometerskala abgelesenen Ausschlägen bestimmt wurden. Das Galvanometer war von der Firma Gebr. Ruhstrat in Göttingen bezogen und hatte einen inneren Widerstand von 10 Ohm. Die Bolometerzweige sowie die Vergleichswiderstände hatten alle nahezu 100 Ohm Widerstand. Die Vergleichswiderstände waren in Watte und Staniol eingewickelt und befanden sich gemeinsam mit dem Rheochorde in einem abgeschlossenen Kasten um vor störenden Einwirkungen von Temperaturschwankungen im Zimmer bewahrt zu bleiben. Die metallischen Verbindungen wurden da, wo nicht wie oben angegeben Klemmschrauben verwandt waren, durch Lötstellen bewerkstelligt. Das Bolometerrähmchen war an einer horizontalen, beiderseits befestigten Messingspirale in deren Mitte so aufgehängt, daß es sowohl vertikale Schwingungen wie horizontale Pendelbewegungen ausführen konnte. An dem unteren Leist-

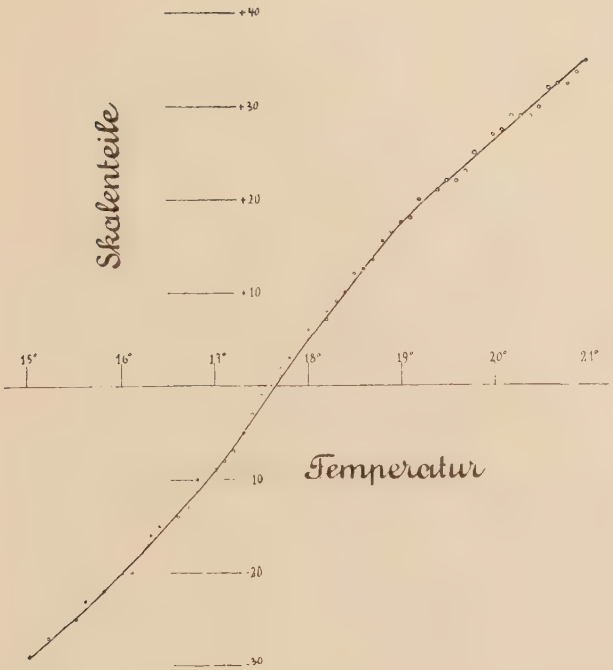

Fig. 3a.

chen des Rähmchens war eine kleine verzinnte Eisenplatte befestigt. Etwas seitlich darunter war an dem Gestell ein kleiner, hufeisenförmiger Elektromagnet angebracht. Wurde dieser durch abwechselndes Schließen und Öffnen des Stromes erregt, so versetzte er das Bolometer in die oben beschriebene Bewegung, indem er die Eisenplatte bald anzog, bald wieder frei gab. Durch diese Schwingungen kam der Bolometerdraht mit einer größeren Luftmenge in Berührung, wodurch eine bessere Durchschnittstemperatur abzulesen gestattet wurde. Überdies wurde hierdurch die störende Wirkung der in dem Bolometerdrahte durch den elektrischen Strom erzeugten Wärme herabgemildert. Als

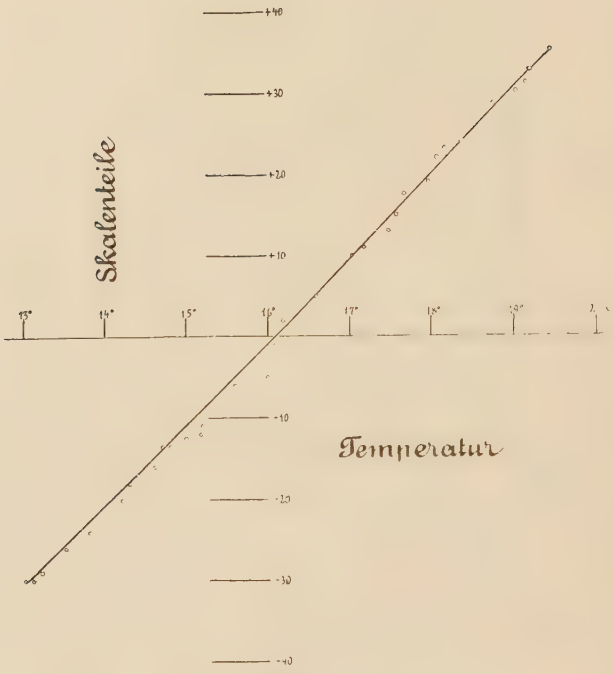

Fig. 3b.

Stromquelle für das Bolometer wurde eine Batterie von zwei frisch geladenen Bleiakkumulatoren benutzt. Der Meßbereich umfaßte dann 8 Grade C, und zwar konnten noch Zehntel Grade direkt abgelesen werden, während noch halbe Zehntel eines Grades geschätzt werden konnten. Geeicht wurde das Bolometer, indem das Rähmchen der Reihe nach mehrmals in Wasserbäder von verschiedenen Wärmegraden gebracht wurde. Nachdem so eine größere Reihe von einzelnen Eichpunkten gewonnen war, wurden diese zu einer Eichkurve graphisch ergänzt. Diese ergab immer nahezu eine gerade Linie (Fig. 3a und 3b.)

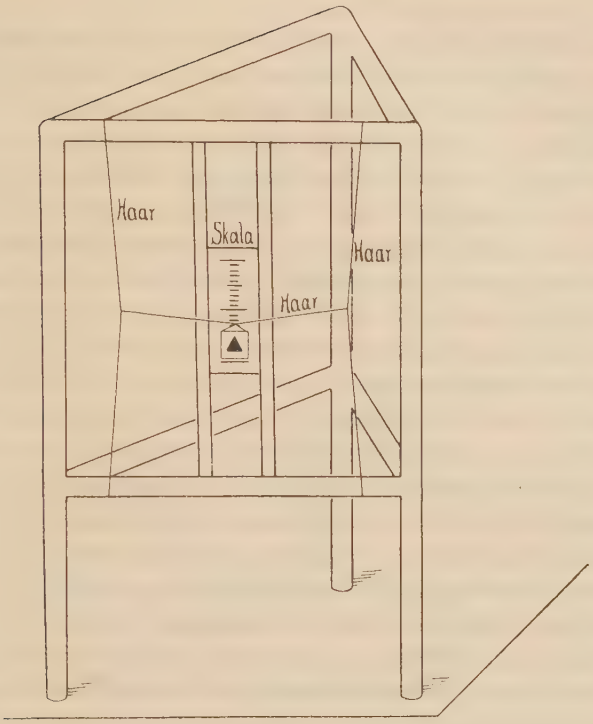

Fig. 4

Zu den vorliegenden Versuchen wurde ein achsenloses Haarhygrometer besonderer Konstruktion verwandt. Da die Trägheit des Instrumentes möglichst klein sein sollte, mußten natürlich Achsen vermieden werden. Das Prinzip der Konstruktion ähnelt dem der einen Bauart von Lambrecht (l. c.) sowie auch dem des Haarhygrometers von Steffens (l. c.). In einem senkrecht aufgestellten, quadratischen Rähmchen (Fig. 4) waren längs zweier senkrechten Kanten in angemessener Entfernung von diesen zwei Haare gespannt. Ein drittes horizontal gespanntes Haar war

mit seinen beiden Enden an den Mittelpunkten des senkrechten Haares durch feste Knoten angeknüpft. An seiner Mitte hing ein kleines, sehr leichtes Deckgläschen an sehr dünnen leichten Drähten. Das Deckgläschen trug eine Marke, und bewegte sich vor einer mit dem Gestell fest verbundenen Glasskala, die in 1/10 mm eingeteilt war. Die Haare waren im Sinne des wirkenden Zuges des Gewichtchens eingeknickt. Durch Lockern der Haare konnte dieses Einknicken vermehrt werden. Hierdurch konnte erreicht werden, daß die Zugkomponenten nicht zu groß wurden. In gleicher Höhe mit der Skala war an die das Ganze umschließende Glasglocke ein Tubus angesetzt, der durch eine planparallele Glasplatte abgeschlossen war. Durch diese hindurch wurde die Skala und die Marke vermittelst eines etwa achtmal vergrößernden Mikroskopes betrachtet. Beleuchtet wurde die Glasskala schräg von unten durch einen Auerbrenner mit Kondensorlinse, während in den Strahlengang zwecks Wärmeabsorption ein Wasserkasten eingeschaltet wurde. Bei dieser Beleuchtung erschienen in dem sonst dunklen Gesichtsfelde die Skalenstriche hell.

Als hygroskopisches Material wurden hellblonde, sehr dünne, aber reißfeste Frauenhaare ausgewählt. Vor ihrer Verwendung wurden sie den Vorschriften von Regnault (l. c.) und Fergusson (l. c.) gemäß 23 Stunden in Äthyläther entfettet. Nachdem diese Haare aufgezogen waren, wurden sie mit Hilfe eines kleinen feuchten Pinselchens etwas angefeuchtet. Sodann wurden sie mehrmals abwechselnd in gesättigter Luft und in Luft von Zimmerfeuchtigkeit längere Zeit hindurch ruhig stehen gelassen. Dann erst wurde das Instrument geeicht. Zu diesem Zwecke begnügte ich mich mit einem Vergleich mit einem jedesmal vorher

justierten Koppe'schen Haarhygrometer, das von Firma Fueß in Steglitz bezogen war. Der Sättigungspunkt wurde nach der schon erwähnten Methode von E. Kleinschmidt (l. c.) festgelegt; nur wurde die Schale mit dem warmen Wasser nicht in den Versuchsraum selbst gebracht, da sich sonst das Deckgläschen und die Glasskala auch beschlagen hätten, und so eine Ablesung unmöglich gewesen wäre. Die Glocke wurde hierzu vielmehr abgehoben, und auf eine andere Unterlage, auf der sich schon die Schale mit dem heißen Wasser befand, aufgesetzt. Nachdem sich ein homogener Beschlag angesetzt hatte, wurde die Glocke wieder schnell auf ihre Bodenplatte aufgesetzt und darauf abgedichtet. Nachdem die Apparatur dann längere Zeit hindurch ruhig stehen geblieben war, wurde mehrmals um einige Millimeter Quecksilberdruck entspannt, bis grade Kondensation in Gestalt von gleichmäßigem Nebel sichtbar wurde. Nachdem die Marke eine bleibende Stelle erreicht hatte, wurde diese als Sättigungspunkt angenommen. Im Übrigen wurde die Eichung weitergeführt, indem durch längeres Durchleiten von trockenerer oder feuchter Luft die relative Feuchtigkeit abwechselnd herabgesetzt oder erhöht wurde. Eine Eichung für sehr große Trockenheit war für die folgenden Versuche nicht erforderlich. Auf diese Weise wurden sehr viele Eichpunkte festgelegt und sodann zu einer Kurve graphisch ergänzt. Diese Eichung, die immer mehrere Tage dauerte, zeigte immer eine Kurve, die von einer graden Linie kaum merklich abwich. Da diese Abweichungen nur für größere Trockenheit bemerkbar wurden, die Kurve sich in der Umgebung des Sättigungspunktes jedoch ziemlich genau als eine gerade Linie darstellte, konnte man für Werte über

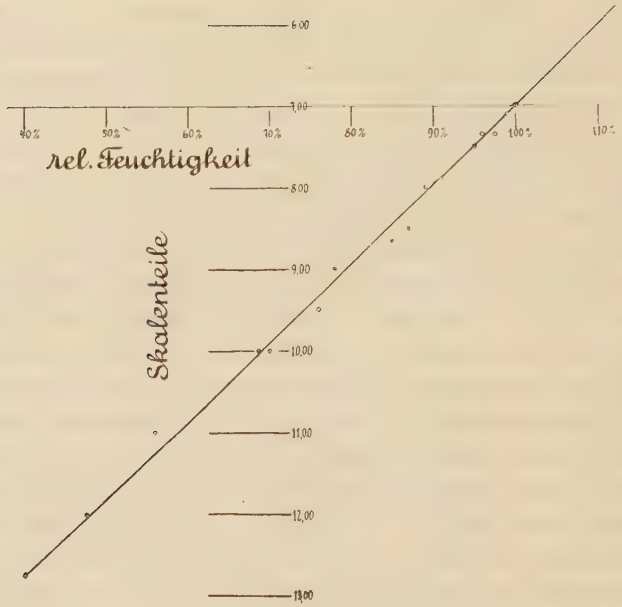

Fig. 5

100% mit ziemlicher Sicherheit auf graphischem Wege extrapolieren, indem man die gerade Linie über den Sättigungspunkt hinaus verlängerte. Da am Hygrometer noch 1/10 mm sehr genau abgelesen werden konnten, während noch halbe Zehntel abgeschätzt werden konnten, war gemäß der Eichkurve (Fig. 5) die Genauigkeit bis mindestens auf ganze Prozente verbürgt.

Vorbereitungen zu den Versuchen.

Nachdem das Bolometer sowie das Haarhygrometer geeicht waren, wurde der Versuchsraum nochmals nach der S. 31 erwähnten Methode mit Wasser-

dampf gesättigt. Sodann wurde damit begonnen, die in der Glocke vorhandenen Kondensationskerne zu entfernen. In der Hauptsache handelte es sich darum, die in der Luft suspendierten Staubteilchen zu beseitigen. Zu diesem Zwecke wurde zuerst mehrmals feuchte Luft, die bei dem Passieren durch die beiden Wattefilter staubfrei geworden war, durch den Versuchsraum durchgeleitet. Hierzu wurde der Entspannungshahn (H_1) ein wenig geöffnet und durch den Hahn (H_2) die staubfreie Luft einströmen gelassen. (Siehe Fig. 1). Durch geeignete Stellung dieser Hähne konnte es erreicht werden, daß ein Luftstrom bei ziemlich gleich bleibendem Drucke den Versuchsraum langsam durchzog, so lange bis das Vakuum wieder mit Luft gefüllt war. Dieses Durchströmen dauerte etwa 5 Stunden, und wurde mitunter 10—12 Mal wiederholt. Vollständig staubfrei wurde die Luft in der Versuchsglocke auf diese Weise gewöhnlich noch nicht. Der Rest der Staubteilchen wurde durch adiabatische Entspannung als Kondensationskerne im entstehenden Nebel ausgefüllt. Langsam, später schneller fiel der Nebel und die Wassertröpfchen setzten sich mit den enthaltenden Staubteilchen an den Boden des Versuchsraumes an. Nachdem der Nebel ausgefallen war, herrschte in der Glocke eine geringere Feuchtigkeit. Da nach der Entspannung die Temperatur daselbst in Folge von Wärmeausgleich mit der Umgebung wieder angestiegen war, mußte nun, nachdem ein Teil des Wasserdampfes ausgeschieden worden war, eine entsprechend niedrigere Feuchtigkeit beobachtet werden. Daher wurde vorerst gewartet, bis der Raum durch Verdampfung der Wasserhaut an den Wänden der Glocke wieder annähernd gesättigt war. Dann wurde abermals entspannt, und dieser Prozeß

so oft wiederholt, bis kein Nebel mehr sichtbar wurde. Wenn die Luft nunmehr staubfrei war, durfte das Hygrometer, nachdem nach stattgehabter Entspannung der Wärmeausgleich wieder beendet war, nicht merklich weniger als 100% anzeigen. Um die Kondensation an den befeuchteten Glaswänden zu verringern, wurde alsdann der Beschlag möglichst entfernt, indem trockene Luft durchgeleitet wurde. Hierdurch durfte allerdings der Raum auch nicht zu sehr ausgetrocknet werden, damit nicht auch die Wassertröpfchen am Boden verdampften, und die niedergeschlagenen Staubteilchen nicht wieder durch die Luftströmungen bei den Entspannungen aufgewirbelt wurden. Sodann wurde der Raum durch abermaliges Durchleiten von feuchter Luft wieder möglichst gesättigt. Über Nacht wurde jedesmal trockenere Luft[1]) in der Glocke stehen gelassen, um ein Beschlagen der Wände durch die nächtliche Abkühlung zu vermeiden. Am Morgen wurde dann jedesmal wieder feuchte Luft eingeführt. An den Nachmittagen konnten dann die Versuche angestellt werden.

Die Versuche und ihre Ergebnisse.

Etwa eine Stunde vor Beginn eines jeden Versuches wurde die Bolometereinrichtung durch Stromschluß in Wirksamkeit gesetzt. Das Bolometerrähmchen wurde andauernd in Schwingungen erhalten. Das Hygrometer wurde ebenfalls vorher beobachtet. Wenn die Angaben beider Instrumente während einer Stunde konstant geblieben waren, konnte mit dem

1) von etwa 60—70%.

Versuche begonnen werden. Die Angaben wurden vorher notiert. Sodann wurde um etwa 10—12 cm Quecksilberdruck möglichst plötzlich entspannt. Unmittelbar nach der hierdurch erzeugten Temperaturerniedrigung begann auch schon der Temperaturausgleich. In Abständen von 5 Sekunden wurden die Angaben der beiden Instrumente jedesmal notiert, bis sowohl das Haarhygrometer wie auch das Galvanometer einen konstanten Wert beibehielten. Die Zeit, die verstrich, bis dies der Fall war, war bei den einzelnen Versuchen sehr verschieden. Die Ablesung an den beiden Instrumenten wurde von zwei Personen ausgeführt, während eine dritte jedesmal nach fünf Sekunden das Zeichen zum Ablesen gab. Die so erhaltenen Werte wurden aufgezeichnet und zu Kurven ergänzt. Aus der Kurve, welche die jeweiligen Temperaturen anzeigte, ließ sich leicht eine Kurve der in den entsprechenden Zeitpunkten herrschenden Übersättigungen berechnen. Es sei $e_{R_o \vartheta_o}$ die Dampfspannung bei der Temperatur ϑ_o zu Beginn des Versuches und der daselbst an dem Haarhygrometer abgelesenen relativen Feuchtigkeit R_o, welche letztere gewöhnlich etwas geringer als 100 % war. Ferner sei E_{ϑ_ν} die Maximaldampfspannung für die Temperatur ϑ_ν, die nach $\nu \cdot 5$ Sekunden erreicht war. Dann beträgt in diesem Augenblicke die berechnete relative Feuchtigkeit:

$$a)\ R_\nu = 100 \cdot \frac{e_{\vartheta_o R_o}}{E_{\vartheta_\nu}},$$

wobei e sowohl größer wie kleiner als E sein konnte. Es liegt zunächst nahe, an dieser Formel noch eine Korrektion anzubringen; denn sie ist nur unter der Annahme exakt giltig, daß sich die Dampfspannung

in dem Versuchsraum nicht ändert. Wäre in der Glocke keinerlei flüssiges Wasser vorhanden gewesen, so hätte allerdings nach einer erweiterten, korrigierten Formel gerechnet werden müssen, da ja bei der Entspannung vorerst der Dampfdruck ebenfalls in entsprechendem Maße erniedrigt wird. Es wäre in diesem Falle:

$$\beta)\ R_\nu = 100 \cdot \frac{e_{\vartheta_o} R_o}{E_{\vartheta_\nu}} \cdot \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{E}}{\mathfrak{B}},$$

wobei $\mathfrak{B}$ den äußeren Barometerstand und $\mathfrak{E}$ die Druckerniedrigung bedeuten. Dieser Fall traf jedoch bei den vorliegenden Versuchen nicht zu. Am Boden des Versuchsraumes befand sich nämlich eine Wasserhaut, da sich Staubnebel daselbst niedergeschlagen hatten. Außerdem blieb immer ein feiner Beschlag an den Wänden der Glocke haften, der nicht entfernt werden konnte. Infolgedessen mußte direkt nach der im ersten Augenblicke eintretenden Dampfdruckerniedrigung eine Verdampfung an den Wasseroberflächen stattfinden, wodurch eine vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Dampfdruckes erreicht worden wäre, sofern sich die Temperatur des flüssigen Wassers nicht geändert hätte. In Wahrheit muß allerdings durch die Abkühlung der Luft bei der Entspannung auch das flüssige Wasser nach einiger Zeit etwas abgekühlt werden. Diese Temperaturerniedrigung konnte jedoch nur sehr klein sein, da der sofort nach der Entspannung beginnende Temperaturausgleich mit den Wänden des Versuchsraumes durch die dünnen Wasserschichten hindurch stattfinden mußte, diese sich also ziemlich schnell wieder erwärmten, ehe sie sich durch Wärmeabgabe an die abgekühlte Luft in der Glocke ihrerseits erheblich abgekühlt haben konnten.

Es wird also der wahre Wert für R_ν viel eher demjenigen entsprechen, der aus der ersten Formel (α) bei Annahme gleichbleibenden Dampfdruckes berechnet wird. Hiermit stimmt auch überein, daß Kleinschmidt[1]) auch schon ohne Anwesenheit von flüssigem Wasser in der Glocke von der Formel β nach derselben Richtung abgehen mußte, da auch bei seinen Versuchen von dem unvermeidlichen hygroskopischen Alkali-Belag des Glases[2]) Wasser verdampfte.

Die nach dem Angeführten herrschende Unsicherheit in Bezug auf die exakte Berechnung der Beobachtungen ist praktisch bei den folgenden Versuchen belanglos gewesen. Um dies zu zeigen wurde Tabelle Ia nach Formel (β) — die aber sicher eine zu große Korrektion gibt — berechnet. (Siehe auch Figur Ia auf der Tafel am Schlusse). Man sieht, daß das Ergebnis im Bezug auf die Schnittpunkte der beiden Kurven hierdurch nicht geändert wird. Es wurde jedoch aus den angegebenen Gründen vorgezogen, die relative Feuchtigkeit, wie sie in den entsprechenden Zeitpunkten herrschte, nach der ersten unveränderten Formel (α) zu berechnen. Die Werte für e und E werden aus Tafeln[3]) entnommen. Die, auf graphischem Wege zu Kurven ergänzten Feuchtigkeitsgrade wurden alsdann in dasselbe Coordinatensystem eingezeichnet wie die Kurve der Angaben des Haarhygrometers. Dies wurde bei 10 Versuchsreihen ausgeführt (siehe Tafel am Schlusse). Die Resultate sind

1) Die Feuchtigkeitsmessung bei Registrierballonaufstiegen l. c. S. 119.

2) Siehe auch Warburg und Ihmori, Wiedemanns Ann. B. 27. 1887. S. 486.

3) Aspirationspsychrometertafeln. Herausgegeben vom K. Preußischen Meteor. Institut. Braunschweig 1908.

ferner in den Tabellen I—X am Schlusse zusammengestellt. In der ersten Spalte derselben stehen die Beobachtungszeiten von 5 zu 5 Sekunden vermerkt. Die zweite Vertikalreihe zeigt die Ausschläge der Galvanometernadel. Die hieraus mittels der Eichkurven (Fig. 3a oder 3b) bestimmten Temperaturen stehen daneben in der folgenden Kolumne. Die sodann berechneten Werte für die Feuchtigkeitsgrade sind in der vierten Spalte aufgezeichnet. In Reihe 5 und 6 sind sodann die gleichzeitig gemachten Hygrometer-Ablesungen notiert, das eine Mal in Skalenteilen, das andere Mal in Prozenten, wie sie aus der Hygrometerkurve (Fig. 5) zu entnehmen sind. Die Versuche 1—5 hatten eine andere Temperatureichkurve (3a) wie 6—10 (3b), da nach Versuch Nr. 5 die Nullstellung des Galvanometerzeigers etwas geändert werden mußte, um einen etwas veränderten Meßbereich zu erhalten.

In Fig. 1—10 auf der Tafel sind sodann diese Resultate noch zu Kurven zusammengestellt. Nach erfolgter Entspannung steigt die Kurve für die berechneten Feuchtigkeiten sofort steil an, während die Werte der Hygrometerkurve nur langsam zunehmen. Erstere fällt gleich, nachdem ein Maximum erreicht war, wieder schnell ab, und schneidet die andere Kurve in deren Maximum. Dies war bei fast sämtlichen Versuchen der Fall. Dann nimmt die berechnete Kurve weiterhin ab, während die Hygrometerkurve ebenfalls, aber langsam abfällt, sodaß ihre Werte in diesem Teile größer sind, schließlich nähern sich beide Kurven bestimmten konstanten Werten, die im Allgemeinen wieder mit dem gemeinsamen Werte identisch waren, den sie bei Beginn des Versuches hatten. Die Tatsache, daß die Hygrometerkurve viel

langsamer ansteigt und nach entsprechend längerer Zeit ihren höchsten Wert erreicht, ist durch die viel größere Trägheit des Haarhygrometers zu erklären. Aus dem nämlichen Grunde nehmen ihre Werte auch nachher weniger schnell ab. Mit einer Ausnahme fielen aber ihre Maximalwerte mit einem Punkte der entsprechenden berechneten Kurve zusammen, sodaß daselbst das Haarhygrometer die berechnete Übersättigung anzeigte. Bei dem einen Versuche, der an dieser Stelle keine genaue Übereinstimmung zeigte, (Fig. 3 auf der Tafel am Schlusse) verliefen beide Kurven auch überhaupt ungewöhnlich. Die Hygrometerkurve schnitt die andere erst nach ihrem höchsten Werte, gleich darauf aber zum zweiten Male, um alsdann dauernd unterhalb dieser zu verlaufen. Bei diesem Versuche muß eine nicht bemerkte Störung eingetreten sein. Daß die Endwerte, denen sich beide Kurven näherten, nicht zusammenfielen, kam häufiger vor. Es ging manchmal im späteren Verlauf abermals unter die berechnete Hygrometerkurve herab. Dies könnte man damit erklären, daß während des Versuches eine geringe Kondensation an den Wänden oder an dem Boden des Versuchsraumes eingetreten wäre. Bei einigen anderen Versuchen vereinigten sich beide Kurven zum Schlusse, doch lag dieser Endwert zuweilen höher oder tiefer als der Anfangswert. Dies war offenbar dann der Fall, wenn die Endtemperatur in der Glocke tiefer oder höher war als diejenige zu Beginn des Versuches. Dies war nicht immer zu vermeiden, da auch in dem Zimmer kleinere Temperaturschwankungen stattfanden. Zudem konnte nach der ziemlich langen Zeit, die bis zur Erreichung der Endwerte verfloß, in der Glocke bereits die Luftbewegung zur Ruhe gekommen sein,

sodaß dann möglicherweise eine Schichtung der Luft nach verschiedenen Feuchtigkeitsgraden und Temperaturen eingetreten sein konnte. Hierdurch konnten ebenfalls solche Störungen verursacht sein. Da aber, wie schon erwähnt, die Kurven sich gewöhnlich in dem Maximalwert der Hygrometerkurve schnitten, hier also das Haarhygrometer eine berechnete Übersättigung anzeigte, ist hierdurch wohl gezeigt, daß Haarhygrometer recht wohl auch noch oberhalb des Sättigungspunktes innerhalb der sonstigen Grenzen ihrer Genauigkeit zuverlässige Feuchtigkeitsmessungen gestatten. Man ist also berechtigt, die betreffenden Hygrometerskalen über 100 % fortzusetzen.

Tabellen über die Versuche.

I. Versuch Nr. 1.

Barometerstand 742 mm. — Entspannungshöhe 116 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 35	21,0	97,5	7,25	97½
5	— 27	15,3	139,2	7,25	97½
10	— 24	15,6	137,1	7,00	100
15	— 20	16,0	133,1	6,85	101½
20	— 16	16,4	130,2	6,60	104
25	— 11	16,9	125,6	6,50	105
30	— 5	17,3	123,2	6,50	105
35	0	17,7	120,4	6,50	105
40	+ 8	18,2	115,9	6,50	105
45	+ 15½	18,8	111,9	6,50	105
50	+ 21½	19,5	107,1	6,50	105
55	27	20,1	103,4	6,50	105
60	33	20,8	98,9	6,50	105
65	33	20,8	98,9	6,60	104
70	34	20,9	98,4	6,60	104
75	34	20,9	98,4	6,60	104
80	34	20,9	98,4	6,80	102
85	34	20,9	98,4	6,90	101
90	34	20,9	98,4	7,00	100

Versuch abgebrochen.

Ia. Versuch Nr. 1.

Barometerstand 742 mm. — Entspannung 116 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 35	21,0	97,5	7,25	97½
5	— 27	15,3	117,5	7,25	97½
10	— 24	15,6	115,7	7,00	100
15	— 20	16,0	112,3	6,85	101½
20	— 16	16,4	109,9	6,60	104
25	— 11	16,9	106,0	6,50	105
30	— 5	17,3	103,9	6,50	105
35	0	17,7	101,6	6,50	105
40	+ 8	18,2	97,8	6,50	105
45	+ 15½	18,8	94,3	6,50	105
50	+ 21½	19,5	90,4	6,50	105
55	27	20,1	87,3	6,50	105
60	33	20,8	83,4	6,50	105
65	33	20,8	83,4	6,60	104
70	34	20,9	83,0	6,60	104
75	34	20,9	83,0	6,60	104
80	34	20,9	83,0	6,80	102
85	34	20,9	83,0	6,90	101
90	34	20,9	83,0	7,00	100

Versuch abgebrochen.

II. Versuch Nr. 2.

Barometerstand 742 mm. — Entspannung 108 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 35	21,0	94,0	7,60	94
Maximum	— 24	15,6	131,8	—	—
5	— 21½	15,8	129,9	7,00	100
10	— 20	16,0	128,0	6,65	103½
15	— 18	16,2	127,0	6,50	105
20	— 15	16,5	124,6	6,40	106
25	— 10	16,9	120,8	6,40	106
30	— 2	17,5	116,8	6,40	106
35	+ 8	18,2	111,6	6,40	106
40	+ 17	19,0	106,1	6,40	106
45	+ 24	19,8	101,2	6,40	106
50	+ 30	20,5	96,7	6,40	106
55	32½	20,7	95,4	6,60	104
60	32½	20,7	95,4	6,70	103
65	33	20,8	95,1	6,90	101
70	33	20,8	95,1	7,00	100
75	34	20,9	94,6	7,00	100
80	34	20,9	94,6	7,00	100
85	34	20,9	94,6	7,10	99
90	34	20,9	94,6	7,20	98
95	34	20,9	94,6	7,20	98
100	34	20,9	94,6	7,40	96
105	34	20,9	94,6	7,60	94
110	34	20,9	94,6	7,60	94
115	34	20,9	94,6	7,70	93
120	34	20,9	94,6	7,80	92
125	34	20,9	94,6	8,05	89½

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

III. Versuch Nr. 3.

Barometerstand 736 mm. — Entspannung 104 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 28	20,2	97,0	7,30	97
5	— 30	15,0	135,4	6,25	102½
10	— 27	15,3	132,3	6,25	102½
15	— 24	15,6	130,3	6,50	105
20	— 21	15,9	127,4	6,40	106
25	— 18	16,2	122,3	6,30	107
30	— 14	16,6	122,0	6,30	107
35	— 9	17,0	118,6	6,30	107
40	— 2	17,5	115,4	6,30	107
45	+ 6	18,1	111,0	6,30	107
50	+ 14½	18,7	106,8	6,30	107
55	+ 20	19,3	103,0	6,30	107
60	22½	19,5	101,8	6,55	106½
65	24	19,6	101,2	6,65	103½
70	25	19,7	100,6	6,85	102½
75	25½	19,8	100,0	7,00	100
80	25½	19,8	100,0	7,00	100
85	26	19,9	99,4	7,00	100
90	26½	20,0	98,8	7,20	98
95	26½	20,0	98,8	7,30	97

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

IV. Versuch Nr. 4.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 114 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Hygrometer	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 31	20,6	94,5	7,55	94½
5	— 24	15,6	129,6	7,10	99
10	— 23	15,7	128,6	6,55	104½
15	— 21	15,9	127,0	6,30	107
20	— 18	16,2	124,8	6,30	107
25	— 11	16,8	119,6	6,30	107
30	0	17,7	113,2	6,30	107
35	+ 13	18.5	107,5	6,30	107
40	+ 17	18,9	104,9	6,40	106
45	+ 21	19,4	101,8	6,40	106
50	24½	19,8	99,4	6,40	106
55	26	19,9	98,3	6,40	106
60	27½	20,1	97,7	6,55	104½
65	28½	20,2	97,2	6,55	104½
70	28½	20,2	97,2	6,75	102½
75	29	20,3	96,6	6.85	101½
80	29	20,3	96,6	7,10	99
85	29	20,3	96,6	7,10	99
90	29	29.3	96,6	7,20	98
95	29	20,3	96,6	7,30	97
100	29	20,3	96,6	7,35	96½
105	29	20,3	96,6	7,55	94½
110	29½	20,4	96,6	7,60	94
115	29½	20,4	96,6	7,85	91½
120	29½	20,4	96,1	8,05	89½

Von hier an bleiben die Werte konstant.

V. Versuch Nr. 5.

Barometerstand: 735 mm. — Entspannung: 108 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Hygrometer	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 31	20,6	96,0	7,40	96
5	— 24	15,6	131,1	7,10	99
10	— 21	15,9	128,2	6,50	105
15	— 17	16,3	125,5	6,30	107
20	— 12½	16,7	121,8	6,30	107
25	— 7	17,2	118,5	6.30	107
30	0	17,7	114,6	6,30	107
35	+ 8	18,2	110,9	6,30	107
40	+ 14½	18,7	107,5	6,30	107
45	+ 19	19,2	104,2	6,30	107
50	25	19,8	100,6	6,45	105½
55	27	20,0	99,4	6,45	105½
60	28	20,1	98,9	6,55	104½
65	28½	20,2	98,3	6,65	103½
70	29	20,3	97,5	6,75	102½
75	29½	20,4	97,2	6,85	101½
80	29½	20,4	97,2	7,00	100
85	29½	20,4	97,2	7,10	99
90	30½	20,5	96,1	7,20	98
95	30½	20,5	96,1	7,30	97
100	30½	20,5	96,1	7,40	96
105	32	20,6	95,6	7,40	96
110	32	20,6	95,6	7,55	96

V. Versuch Nr. 5.

Barometerstand: 735 mm. — Entspannung: 108 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Hygrometer	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
115	32	20,6	95,6	7,60	94
120	32	20,6	95,6	7,60	94
125	32	20,6	95,6	7,85	91 1/2
130	32	20,6	95,6	7,90	91
135	32	20,6	95,6	8,00	90
140	32	20,6	95,6	8,00	90
145	32	20,6	95,6	8,00	90
150	32	20,6	95,6	8,00	90
155	32	20,6	95,6	8,00	90
160	32	20,6	95,6	8,00	90
165	32	20,6	95,6	8,00	90
170	32	20,6	95,6	8,00	90
175	32	20,6	95,6	8,00	90
180	32	20,6	95,6	8,00	90

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

VI. Versuch Nr. 6.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 102 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Hygrometer	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 34	19,4	99,0	7,10	99
Maximum	— 25	13,6	143,1	—	—
5	— 23	13,9	139,5	7,00	100
10	— 18½	14,3	136,1	6,75	102½
15	— 16½	14,5	135,0	6,50	105
20	— 13½	14,8	131,8	6,40	106
25	— 8	15,2	128,8	6,40	106
30	— 4	15,7	124,6	6,30	107
35	+ 1½	16,2	121,1	6,30	107
40	+ 11½	17,2	113,7	6,30	107
45	+ 17½	17,8	109,2	6,30	107
50	25	18,5	103,8	6,30	107
55	26	18,6	102,5	6,30	107
60	28	18,8	101,2	6,30	107
65	28	18,8	101,2	6,40	106
70	30	19,0	100,6	6,40	106
75	30	19,0	100,6	6,40	106
80	31	19,1	100,0	6.50	105
85	31	19,1	100,0	6,50	105
90	32	19,2	99,5	6,50	105
95	33	19,3	99,4	6,50	105
100	34	19,4	99,0	6,50	105
105	34	19,4	99,0	6,55	104½

VI. Versuch Nr. 6.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 102 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Hygrometer	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
110	34	19,4	99,0	6,55	104½
115	34	19,4	99,0	6,65	103½
120	34	19,4	99,0	6,75	102½
125	34	19,4	99,0	6,75	102½
130	34	19,4	99,0	6,75	102½
135	34	19,4	99,0	6,85	101½
140	34	19,4	99,0	6,85	101½
145	34	19,4	99,0	6,85	101½
150	34	19,4	99,0	6,85	101½
155	34	19,4	99,0	7,00	100
160	34	19,4	99,0	7,00	100
165	34	19,4	99,0	7,00	100
170	34	19,4	99,0	7,00	100
175	34	19,4	99,0	7,00	100
180	34	19,4	99,0	7,00	100
185	34	19,4	99,0	7,00	100
190	34	19,4	99,0	7,10	99
195	34	19,4	99,0	7,10	99
100	34	19,4	99,0	7,10	99

Von hier an bleiben die Werte konstant.

VII. Versuch Nr. 7.

Barometerstand: 732 mm. — Entspannung: 112 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 34	19,5	99,0	7,10	99
5	— 20	14,1	139,2	7,00	100
10	— 16½	14,5	135,8	6,85	101½
15	— 13½	14,8	132,4	6,80	102
20	— 9	15,2	129,5	6,45	105½
25	— 7	15,4	127,5	6,40	106
30	— 5	15,6	126,5	6,30	107
35	— 3	15,8	124,6	6,30	107
40	0	16,1	121,9	6,30	107
45	+ 3	16,4	121,0	6,30	107
50	+ 7½	16,8	116,8	6,30	107
55	+ 12½	17,3	113,6	6,30	107
60	18	17,8	109,9	6,30	107
65	23	18,3	106,4	6,30	107
70	27	18,7	103,7	6,30	107
75	32	19,2	100,6	6,30	107
80	34	19,5	99,0	6,30	107
85	34	19,5	99,0	6,40	106
90	34	19,5	99,0	6,40	106
95	34	19,5	99,0	6,45	105½
100	34	19,5	99,0	6,45	105½
105	34	19,5	99,0	6,45	105½
110	34	19,5	99,0	6,60	104

VII. Versuch Nr. 7.

Barometerstand: 732 mm. — Entspannung: 112 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
115	34	19,5	99,0	6,60	104
120	34	19,5	99,0	6,60	104
125	34	19,5	99,0	6,60	104
130	34	19,5	99,0	6,75	102½
135	34	19,5	99,0	6,75	102½
140	34	19,5	99,0	6,75	102½
145	34	19,5	99,0	6,80	102
150	34	19,5	99,0	6,80	102
155	34	19,5	99,0	6,80	102
160	34	19,5	99,0	6,85	101½
165	34	19,5	99,0	6,85	101½
170	34	19,5	99,0	6,85	101½
175	34	19,5	99,0	7,00	100
180	34	19,5	99,0	7,00	100
185	34	19,5	99,0	7,00	100
190	34	19,5	99,0	7,00	100
195	34	19,5	99,0	7,00	100
200	34	19,5	99,0	7,10	99
205	34	19,5	99,0	7,10	99
210	34	19,6	99,0	7,10	99
215	34	19,5	99,0	7,10	99

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

VIII. Versuch Nr. 8.

Barometerstand: 733 mm. — Entspannung: 112 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 34	19,5	99,0	7,10	99
Maximum	— 25	13,6	144,0	—	—
5	— 22	14,0	140,3	7,00	100
10	— 18	14,3	136,9	6,75	102½
15	— 17½	14,4	135,9	6,55	104½
20	— 15	14,7	133,9	6,45	105½
25	— 12	14,9	131,5	6,40	106
30	— 9	15,2	126,7	6,30	107
35	— 5	15,6	124,5	6,30	107
40	— 1	16,0	122,5	6,30	107
45	+ 6½	16,7	120,3	6,30	107
50	+ 12½	17,3	113,6	6,30	107
55	+ 19	17,9	109,2	6,30	107
60	25	18,5	105,1	6,30	107
65	29	18,9	102,4	6,30	107
70	30½	19,1	101,2	6,30	107
75	31½	19,2	100,6	6,40	106
80	33½	19,4	99,4	6,50	105
85	33½	19,4	99,4	6,50	105
90	33½	19,4	99,4	6,50	105
95	33½	19,4	99,4	6,50	105
100	34	19,5	99,0	6,55	104½
105	34	19,5	99,0	6,55	104½

VIII. Versuch Nr. 8.

Barometerstand: 733 mm. — Entspannung: 112 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
110	34	19,5	99,0	6,55	104½
115	34	19,5	99,0	6,60	104
120	34	19,5	99,0	6,65	103½
125	34	19,5	99,0	6,65	103½
130	34	19,5	99,0	6,75	102½
135	34	19,5	99,0	6,80	102
140	34	19,5	99,0	6,80	102
145	34	19,5	99,0	6,80	102
150	34	19,5	99,0	6,90	101
155	34	19,5	99,0	6,90	101
160	34	19,5	99,0	6,90	101
165	34	19,5	99,0	7,00	100
170	34	19,5	99,0	7,00	100
175	34	19,5	99,0	7,00	100
180	34	19,5	99,0	7,00	100
185	34	19,5	99,0	7,00	100
190	34	19,5	99,0	7,00	100
195	34	19,5	99,0	7,05	99½
200	34	19,5	99,0	7,05	99½
205	34	19,5	99,0	7,10	99
210	34	19,5	99,0	7,10	99
215	34	19,5	99,0	7,10	99

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

IX. Versuch Nr. 9.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 19	17,9	98,0	7,20	98,0
5	— 26	13,6	129,3	7,00	100
10	— 24	13,8	127,1	6,60	104
15	— 23	13,9	126,0	6,55	104½
20	— 22	14,0	125,2	6,45	105½
25	— 21	14,1	122,9	6,40	106
30	— 19	14,3	122,0	6,40	106
35	— 16½	14,5	118,1	6,40	106
40	— 12½	14,9	115,4	6,40	106
45	— 8	15,3	110,3	6,40	106
50	— 1	16,0	108,7	6,40	106
55	+ 1	16,3	105,6	6,40	106
60	+ 6½	16,7	103,4	6,40	106
65	+ 9	17,0	102,0	6,45	105½
70	12½	17,3	101,3	6,45	105½
75	14	17,4	100,9	6,45	105½
80	15	17,5	100,0	6,45	105½
85	15	17,5	100,0	6,45	105½
90	15	17,5	100,0	6,45	105½
95	15	17,5	100,0	6,55	104½
100	15	17,5	100,0	6,55	104½
105	15	17,5	100,0	6,55	104½
110	15	17,5	100,0	6,55	104½

IX. Versuch Nr. 9.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
115	16	17,6	98,0	6,55	104½
120	16	17,6	98,0	6,55	104½
125	16	17,6	98,0	6,55	104½
130	16	17,6	98,0	6,55	104½
135	16	17,6	98,0	6,55	104½
140	16	17,6	98,0	6,55	104½
145	16	17,6	98,0	6,55	104½
150	16	17,6	98,0	6,55	104½
155	16	17,6	98,0	6,55	104½
160	16	17,6	98,0	6,55	104½
165	16	17,6	98,0	6,55	104½
170	16	17,6	98,0	6,55	104½
175	16	17,6	98,0	6,55	104½
180	16	17,6	98,0	6,55	104½
185	16	17,6	98,0	6,55	104½
190	16	17,6	98,0	6,55	104½
195	16	17,6	98,0	6,55	104½
200	16	17,6	98,0	6,55	104½
205	16	17,6	98,0	6,60	104
.	.	.	.	.	.
255	16	17,6	98,0	6,60	104
260	16	17,6	98,0	6,75	102½
.	.	.	.	.	.

IX. Versuch Nr. 9.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
285	16	17,6	98,0	6,75	102½
290	16	17,6	98,0	6,80	102
.	.	.	.	.	.
335	16	17,6	98,0	6,80	102
340	16	17,6	98,0	6,85	101½
.	.	.	.	.	.
415	16	17,6	98,0	6,85	101½
420	16	17,6	98,0	6,90	101
.	.	.	.	.	.
440	16	17,6	98,0	6,90	101
445	16	17,6	98,0	7,00	100
.	.	.	.	.	.
1015	16	17,6	98,0	7,00	100

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

X. Versuch Nr. 10.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
0	+ 29	18,9	99,0	7,10	99
Maximum	— 30	13,0	143,8	—	—
5	— 27	13,5	138,8	7,00	100
10	— 24	13,8	136,5	6,75	102½
15	— 20	14,2	133,0	6,65	103½
20	— 17½	14,4	130,9	6,55	104½
25	— 14½	14,7	128,8	6,50	105
30	— 12	14,9	126,7	6,50	105
35	— 9	15,2	124,9	6,40	106
40	— 6	15,5	122,9	6,40	106
45	— 3	15,8	120,2	6,40	106
50	+ 2	16,3	116,7	6,40	106
55	+ 8	16,9	111,8	6,40	106
60	+ 13½	17,4	108,8	6,40	106
65	18	17,8	104,6	6,40	106
70	20	18,0	103,9	6,50	105
75	21	18,1	103,2	6,50	105
80	21	18,1	103,2	6,50	105
85	22	18,2	102,5	6,50	105
90	22	18,2	102,5	6,50	105
95	22	18,2	102,5	6,50	105
100	23	18,3	101,9	6,50	105
105	24	18,4	100,6	6,50	105

X. Versuch Nr. 10.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
110	24	18,4	100,6	6,50	105
115	24	18,4	100,6	6,50	105
120	26	18,6	100,1	6,55	$104^1/_2$
125	26	18,6	100,1	6,55	$104^1/_2$
130	26	18,6	100,1	6,55	$104^1/_2$
135	26	18,6	100,1	6,55	$104^1/_2$
140	27	18,7	100,0	6,55	$104^1/_2$
145	27	18,7	100,0	6,55	$104^1/_2$
150	27	18,7	100,0	6,55	$104^1/_2$
155	27	18,7	100,0	6,55	$104^1/_2$
.	.	.	.	.	.
205	27	18,7	100,0	6,55	$104^1/_2$
210	28	18,9	99,0	6,60	104
.	.	.	.	.	.
245	28	18,9	99,0	6,60	104
250	28	18,9	99,0	6,65	$103^1/_2$
.	.	.	.	.	.
270	28	18,9	99,0	6,65	$103^1/_2$
275	28	18,9	99,0	6,75	$102^1/_2$
.	.	.	.	.	.
320	28	18,9	99,0	6,75	$102^1/_2$
325	28	18,9	99,0	6,80	102
.	.	.	.	.	.

X. Versuch Nr. 10.

Barometerstand: 736 mm. — Entspannung: 110 mm.

Zeit in Sekunden	Ablesung am Bolometer			am Haarhygrom.	
	Skalenteile	Temperatur	Feuchtigkeit	Skalenteile	Feuchtigkeit
350	28	18,9	99,0	6,80	102
355	28	18,9	99,0	6,85	$101^1/_2$
.	.	.	.	.	.
380	28	18,9	99,0	6,85	$101^1/_2$
385	28	18,9	99,0	6,90	101
.	.	.	.	.	.
415	28	18,9	99,0	6,90	101
420	28	18,9	99,0	7,00	100
.	.	.	.	.	.
435	28	18,9	99,0	7,00	100
440	28	18,9	99,0	7,10	99
.	.	.	.	.	.
865	28	18,9	99,0	7,10	99

Von hier ab bleiben die Werte konstant.

Die vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Universität Marburg ausgeführt. Es sei mir gestattet, an dieser Stelle dem Direktor des Institutes

Herrn Prof. Dr. F. Richarz

für das mir stets entgegengebrachte, fördernde Interesse meinen Dank auszudrücken.

Ebenso danke ich Herrn Privatdozent **Dr. A. Wegener** für die Anregung zu dieser Arbeit und dafür, daß er mir seine reichen Erfahrungen auf diesem Gebiete in liebenswürdiger Weise zur Verfügung stellte.

Zu Danke bin ich auch Herrn **Dr. K. Stuchtey** verpflichtet für die werten Ratschläge bei den Versuchen und bei Abfassung dieser Schrift.

Zugleich spreche ich auch den Herren **H. Stolze** und **W. Oehmichen** für ihre bereitwillige Hilfe bei den Ablesungen während der Versuche meinen Dank aus.

Lebenslauf.

Am 6. Mai 1888 wurde ich, Adolf, Franz, Wilhelm Weber, katholischen Bekenntnisses und preußischer Staatsangehörigkeit, als Sohn des k. Postsekretärs Anton Weber zu Frankfurt am Main geboren. Den ersten Unterricht genoß ich an der Ostend-Mittelschule daselbst. Ab Ostern 1897 besuchte ich die Klinger-Ober-Realschule, um Ostern 1899 in die Musterschule (Realgymnasium) in Frankfurt am Main einzutreten. Diese verließ ich Ostern 1907 mit dem Zeugnis der Reife, um mich dem Studium der Physik, der Mathemathik und der Chemie zuzuwenden.

Meine Studien begann ich Ostern 1907 zu Gießen, das ich nach 2 Semestern mit der Universtät Marburg vertauschte.

Meine akademischen Lehrer waren:

In Gießen:

Elbs, Fromme, Graßmann, Groos, König, Messer, Netto, Pasch und Weidenbach.

In Marburg:

Cohen, v. Dalwigk, Feußner, Hartmann, Hellinger, Hensel, Menzer, Natorp, Neumann, Richarz, Schaum, Schulze, Schwantke und Zinke.

Das Examen Rigorosum bestand ich am 12. Juni 1912. In der folgenden Zeit bereitete ich mich in Frankfurt a. M. und Marburg für das Staatsexamen vor.